

Domos desplegables. Método geométrico a partir de polígonos regulares.

Natalia Torres^a, Ramon Sastre^b, Xavier Gimferrer^b, Structural Morphology in Architecture SMIA^c

^aDoctoranda. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona Tech; ^bPhD. Prof. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona Tech; ^cGrupo de Investigación del LITA - UPC. Laboratorio de Innovación y Tecnología de la Arquitectura. natalia.paola.torres@upc.edu

El presente artículo desarrolla el tema de las estructuras desplegables a partir de la agrupación de módulos de tijeras rectas, dando a conocer su definición y principales configuraciones geométricas desarrolladas para su aplicación en arquitectura. La plegabilidad como su principal característica, permite que este tipo de estructuras puedan responder y adaptarse a requerimientos específicos en la construcción, como la portabilidad, la ligereza, la modulación de los elementos y el rápido montaje; ventajas que permiten que las estructuras desplegables sean cada vez más populares en la aplicación de propuestas arquitectónicas que requieran ser temporales o requieran de un rápido proceso de ejecución. De esta forma, con el objetivo de generar herramientas académicas que contribuyan al estudio de las estructuras desplegables se propone un método geométrico para el proceso de búsqueda de la forma de domos desplegables, que permita definir las características específicas de las barras y posición de las articulaciones ante requerimientos específicos de diseño.

Palabras clave: Arcos desplegables, sistema tipo tijera, modular, plegable, método geométrico.

1. Introducción

Las estructuras desplegables a partir de la agrupación de módulos de tijeras con barras rectas, permiten la configuración de múltiples espacialidades con la principal característica de obtener estructuras que se pliegan, optimizando los procesos de montaje, desmontaje y transporte de la estructura. Su desarrollo y avance tecnológico está cada vez más presente en el diseño de aplicaciones en el sector de la arquitectura temporal que permite resaltar las ventajas de estas estructuras como una arquitectura modular, transformable, ligera, adaptable y transportable.

Los principios conceptuales para el planteamiento de este tipo de estructuras desarrollados por los primeros arquitectos que se enfrentaron al análisis y diseño de estructuras plegables, Emilio Pérez Piñero [1], Félix Escrig [2], Chaius J. Gantes [3], Temmerman [4], entre otros; se basan en la agrupación de módulos de tijera que forman superficies curvas desplegables, buscando reducir al máximo el número de barras de diferente longitud y optimizando los procesos de despliegue, proponiendo en sus diseños métodos geométricos para la correcta proyección de tijeras y soluciones a las incompatibilidades durante las etapas de despliegue (Fig. 1).

Para entrar en contexto, se define un módulo de tijera como la articulación de dos barras rectas que contienen tres puntos de articulación sobre el eje longitudinal de cada barra y posicionados sobre una línea recta, la articulación central entre las dos barras forma el módulo de tijera y las articulaciones

extremas permiten el enlace con el módulo de tijera adyacente (Fig. 2).

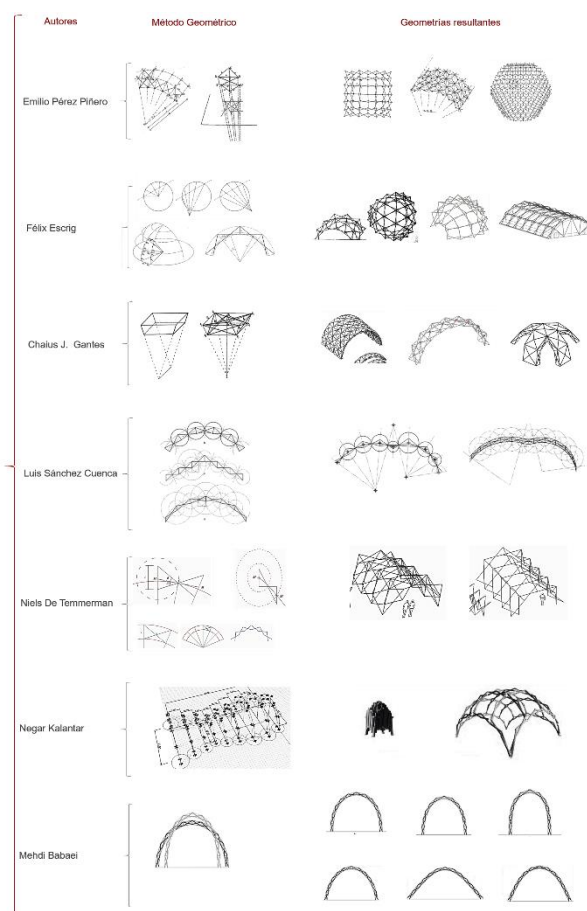


Figura 1. Métodos geométricos propuestos por los principales autores para la configuración de estructuras desplegables. Sistema tipo tijera.

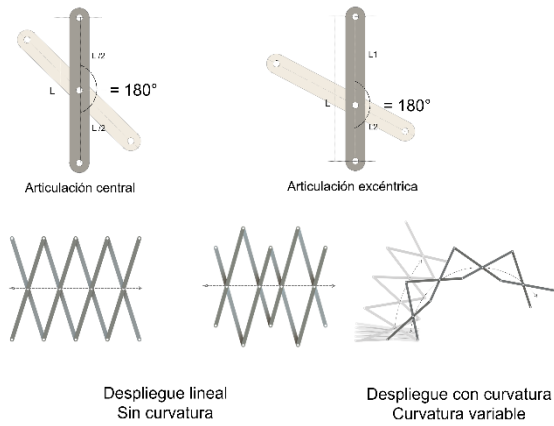


Figura 2. Módulo de tijera y tipos de despliegue según la posición de las barras, la posición de la articulación central y el enlace con la tijera adyacente.

Dependiendo la posición de la articulación central, la longitud de las barras y el correcto enlace con la tijera adyacente, se debe cumplir la condición de plegabilidad (1) (Fig. 3). Garantizada la condición de plegabilidad entre barras, se pueden obtener diferentes redes desplegables a partir de las directrices, las generatrices y la agrupación de módulos tridimensionales de tijeras, denominados módulos cuadrangulares y módulos triangulares (Fig. 4 y Fig. 5).

$$a + b = c + d \quad (1)$$

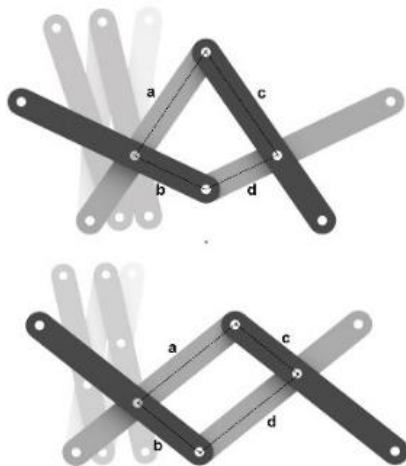


Figura 3. Condición de plegabilidad entre módulos de tijeras.

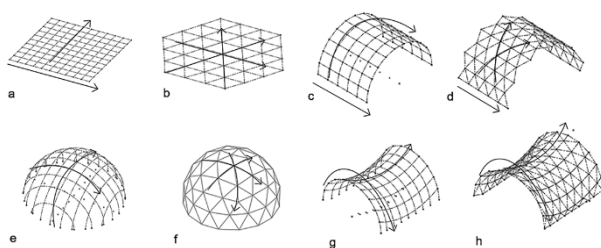


Figura 4. Superficies proyectadas como redes cuadrangulares y triangulares para desarrollar estructuras desplegables.

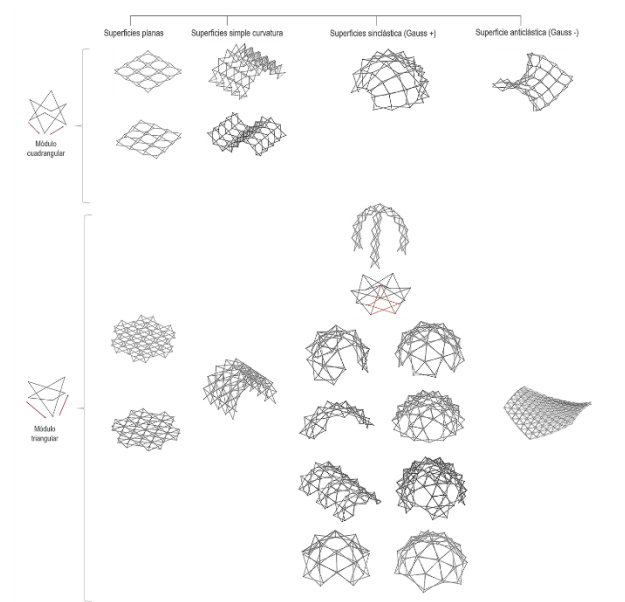


Figura 5. Configuración de superficies desplegables. Agrupación de módulos de tijera cuadrangulares y módulos triangulares.

2. Superficies desplegables con curvatura a partir de arcos planos

La Fig. 5 representa un repertorio de superficies desplegables formadas por la agrupación continua de módulos cuadrangulares y triangulares, pero una aplicación a resaltar realizada por Félix Escrig [2], define la geometría de un domo a través de tres brazos desplegables (Fig. 6).

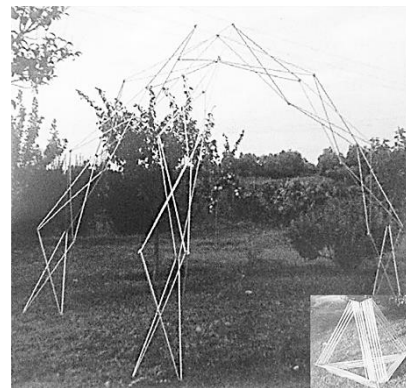
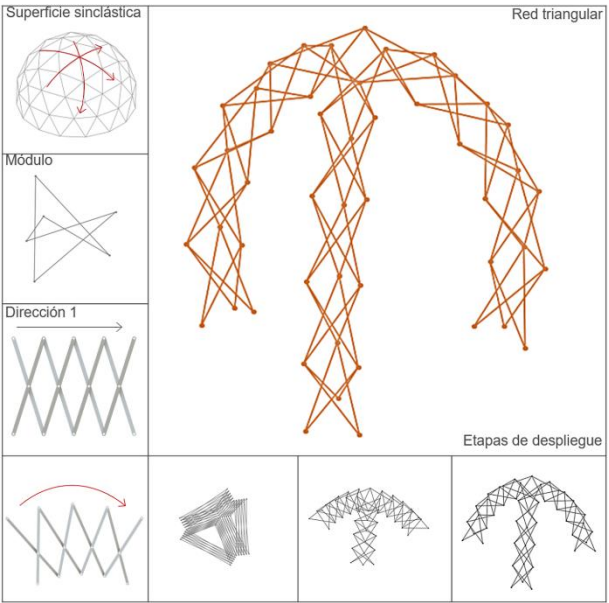


Figura 6. Prototipo de domo desplegables. Módulos triangulares de tijeras que forman semiarcos desplegables. Félix Escrig [2].

La base geométrica corresponde a remplazar las caras de un tetraedro por semiarcos desplegables configurados por la agrupación de módulos triangulares, para generar la doble curvatura, los arcos se posicionan en tres direcciones diferentes, similar a un trípode, donde los semiarcos rotan sobre si mismos a través de un eje vertical central a la geometría del tetraedro (Tabla 1).

Esta agrupación conduce al estudio de varias estrategias de diseño, que son fundamentales para el desarrollo de nuevas configuraciones de estructuras desplegables, donde se propone que la superficie está limitada por arcos desplegables y el área a cubrir incorpora cerramientos acordes a estas estructuras como lonas textiles. Esta estrategia de diseño permite eliminar barras y reducir conexiones complejas para aligerar la estructura y facilitar los procesos de fabricación, montaje y despliegue de la misma.

Tabla 1. Domo desplegable a partir de las caras del tetraedro.



De esta forma, a partir de los métodos geométricos para configurar bóvedas se propone reemplazar la curva generatriz y directriz por la agrupación de arcos planos desplegables (Fig. 7), presentando cuatro posibilidades para la configuración de superficies desplegables (Tablas 2 a 5).

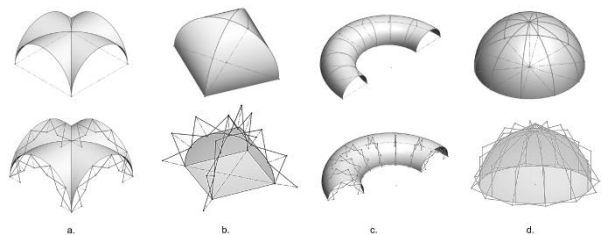


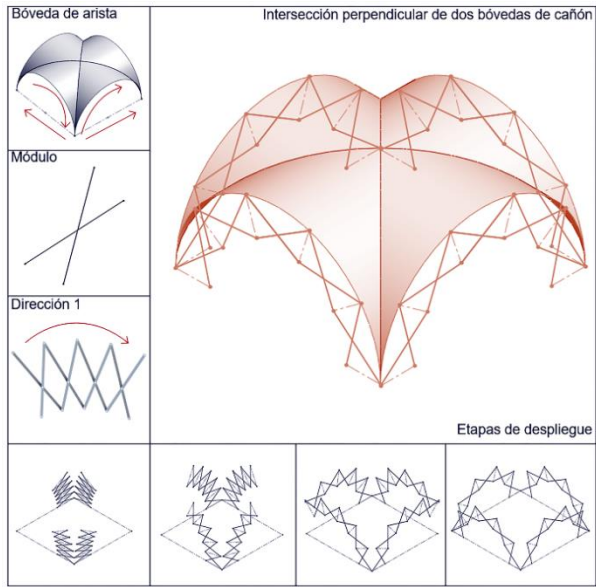
Figura 7. Tipos de bóvedas proyectadas como superficies a partir de arcos planos desplegables. a) Bóveda de arista. b) Bóveda esquinada. c) Bóveda anular. d) Domo o cúpula.

2.1 Superficie a partir de la bóveda de arista.

Esta superficie es formada por la intersección perpendicular de dos bóvedas de cañón (Fig. 7 a). Su interpretación como superficie desplegable consiste en reemplazar los arcos que definen el perímetro de la superficie por agrupaciones de tijeras con

articulación excéntrica que generen los arcos desplegables. La superficie es definida al incorporar una membrana continua con el correcto patronaje para generar la geometría deseada.

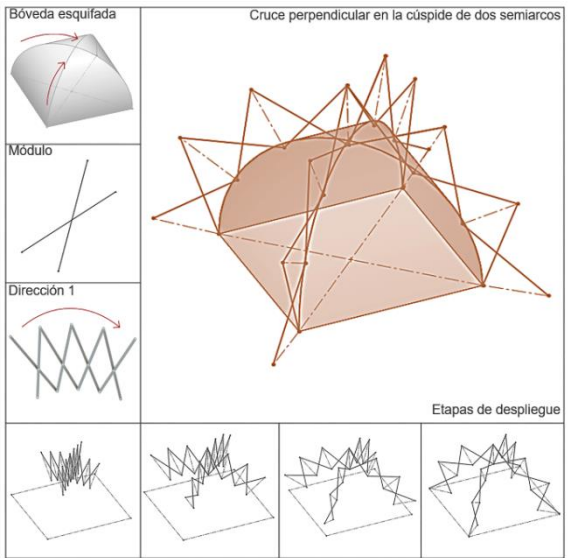
Tabla 2. Bóveda de arista desplegable.



2.2 Superficie a partir de la bóveda esquinada.

Consiste en el cruce perpendicular de dos semiarcos en la cúspide de los mismos, generando una planta cuadrada y una superficie que genera cuatro triángulos curvos (Fig. 7 b). La propuesta como superficie desplegable consiste en reemplazar los dos arcos por la agrupación de módulos de tijeras con articulación excéntrica, enlazados perpendicularmente en un módulo de tijera intermedio para responder a la geometría de la bóveda esquinada.

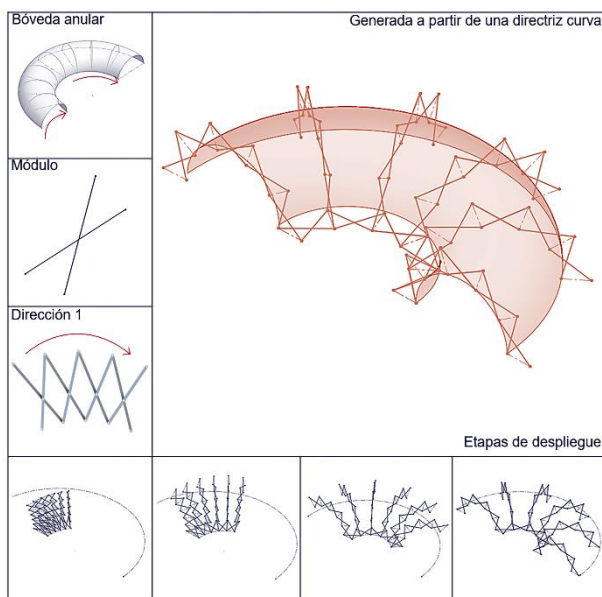
Tabla 3. Bóveda de arista desplegable.



2.3 Superficie a partir de la bóveda anular.

Generada a partir de una generatriz de un arco que se desplaza sobre dos directrices curvas concéntricas, la superficie resultante, según la longitud de las directrices, corresponde a secciones de la superficie de revolución de un toroide. Para su interpretación como una superficie desplegable, se parte de una agrupación de módulos de tijera con articulación excéntrica que forma los arcos planos desplegables, siendo esta la geometría generatriz. Cada módulo de arco va enlazado en planta y a su respectivo módulo de tijera, que corresponde a un arco desplegable posicionado de tal manera que describa en planta el despliegue según las directrices de la bóveda anular.

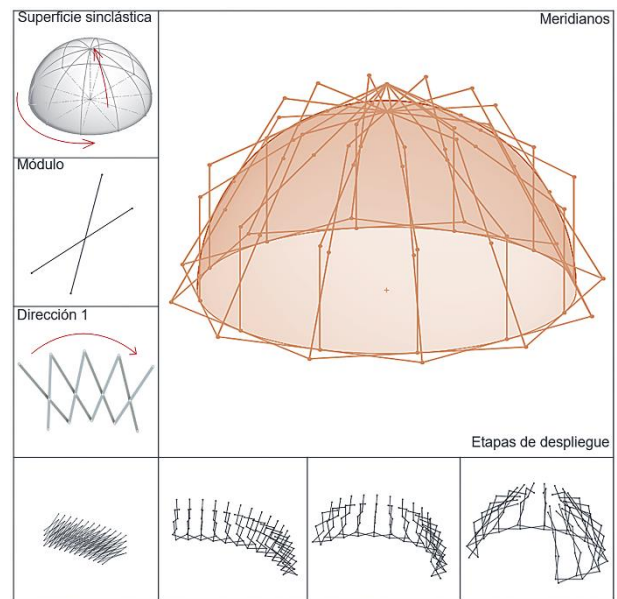
Tabla 4. Bóveda anular desplegable.



2.4 Superficie a partir de la bóveda esférica.

Esta superficie es formada por un arco generatriz que gira alrededor de su eje vertical. Según la geometría de arco es posible obtener superficies de revolución que describan cúpulas semiesféricas, elipsoides o paraboloides. La proyección como superficie desplegable consiste en semi arcos desplegables, que constituyen los ejes meridionales del domo y se despliegan simultáneamente gracias a la agrupación de tijeras en planta.

Tabla 5. Bóveda esférica desplegable.



3. Método geométrico a partir de polígonos regulares para configurar arcos desplegables

Cada una de las superficies descritas en el anterior apartado permite establecer el arco como módulo principal, de esta manera la investigación se centra en la búsqueda de un método geométrico que permita establecer las determinantes y búsqueda de la forma de arcos desplegables.

El método geométrico propuesto consisten en la superposición de polígonos regulares inscritos en una circunferencia [5], la geometría resultante permite visualizar un trazado de segmentos que simula una agrupación de tijeras y para el caso específico, arcos compuestos de segmentos que se traducen a barras articuladas como módulos de tijeras (Fig. 8).

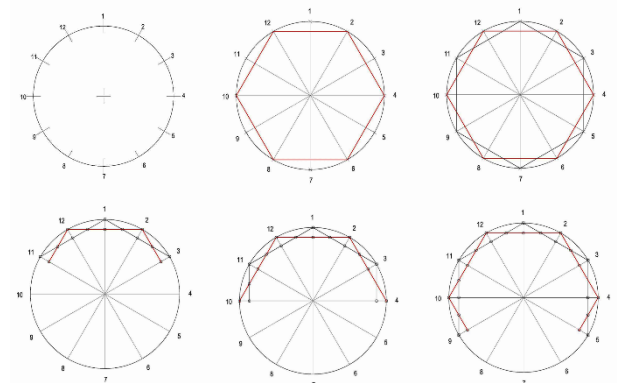


Figura 8. Método geométrico a partir de polígonos regulares para configurar arcos desplegables del tipo rebajado, de medio punto y de berradura.

Si se establece el diámetro de la circunferencia base, es posible obtener la longitud de la barra específica y el posicionamiento exacto de la articulación central

para obtener la curvatura necesaria en la etapa final de despliegue de una superficie requerida.

El método propuesto genera el desarrollo de una tabla interactiva que arroja resultados gráficos de posibilidades espaciales de domos desplegables, donde su geometría depende de los datos variables que se introduzcan, como el diámetro requerido o longitud de barra necesaria, el tipo de arco (rebajado, medio punto o herradura), el tipo de geometría (bóvedas o domos) y el polígono base.

Tabla 5. Bóveda esférica desplegable.

TABLA 1.1 CONFIGURACIÓN DE ARCOS DESPLEGABLES - SISTEMA TIJERA			
SELECCIONE SU OPCIÓN	ESQUEMAS GRÁFICOS	VALORES MTS	
POLIGONO:	<div> </div>	<div> </div>	<div> a: 0.70 b: 0.80 c: 1.50 r2: 54 </div>
TIPO DE ARCO:	<div> </div>	<div> </div>	<div> r: 26 </div>
GEOMETRÍA ESPACIAL:	<div> </div>	<div> </div>	<div> OTROS DATOS MTS DIÁMETRO (d): 6.00 RADIO (r): 3.00 ALTURA LIBRE (h): 2.00 CANTO (c): 0.40 </div>
CONFIGURACIÓN DE LA GEOMETRÍA A PARTIR DE:		ETAPAS DE DESPLIEGUE	
<div> DIÁMETRO INGRESE VALOR (MTS): 6.00 </div>		<div> </div>	

4. Conclusiones

El método geométrico propuesto se ha validado en tres prototipos construidos con diferentes materiales, lo que ha permitido confirmar el comportamiento acertado de la estructura en relación con las geometrías propuestas, en su estado final de despliegue y en las etapas de despliegue más críticas (Fig. 9).

Se concluye que el método facilita el proceso de búsqueda de la forma generando múltiples posibilidades de bóvedas y domos desplegables a partir de variables sencillas según el requerimiento de diseño que se necesite. Además se optimizan los tiempos de fabricación, montaje y ensamble de piezas al obtener una mayor modularidad de las barras.

Durante el proceso de despliegue los arcos tienen que volcarse, pero debido a la escala de las aplicaciones y al planteamiento como estructuras ligeras, el movimiento se controla manualmente y la estructura es totalmente estable en su etapa final de despliegue. Las superficies resultantes a partir del concepto de la configuración de bóvedas y el método geométrico propuesto, generan estructuras desplegables que se

caracterizan por incorporar menos módulos de tijeras, es decir, es posible delimitar un espacio que describa una superficie desplegable con curvatura, reemplazando la generatriz y directriz de la superficie por arcos desplegables, completando la espacialidad con cerramientos idóneos como membranas arquitectónicas.



Figura 9. Prototipos construidos. De arriba hacia abajo. Escenario desplegable, Stand Egg y Pabellón comedor Xué.

Referencias

- [1] Puertas el Río, L. Estructuras espaciales desmontables y desplegables. Estudio de la Obras del arquitecto Emilio Pérez Piñero (tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, España. 1989.
- [2] Escrig, F. (Ed.). Modular, ligero y transformable. Un paseo por la arquitectura ligera móvil. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. 2012.
- [3] Gantes, C., Konitopoulou, E. Geometric design of arbitrarily curved bi-stable deployable arches with discrete joint size. International Journal of Solids and Structures 2004, 41 (20), 5517-5540.
- [4] De Temmerman, N. Design and analysis of deployable bar structures for mobile architectural applications (tesis doctoral). Vrije Universiteit Brussel. 2007.
- [5] Torres, N., y Peña, D.M. Deployable Arches Based on Regular Polygon Geometry. Archi Doct 2017, 4(2), 89-105.